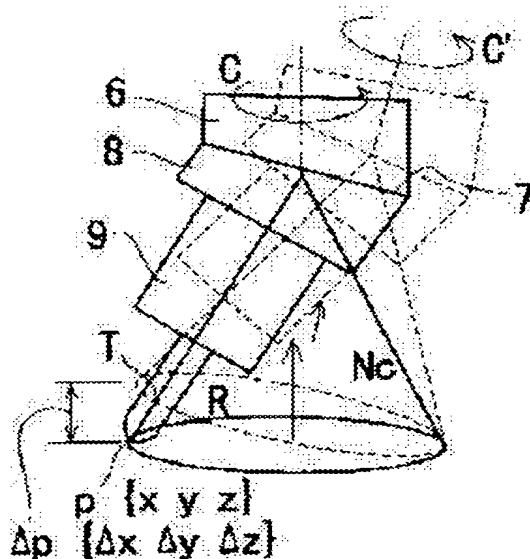


(11)Publication number : 2001-269839
(43)Date of publication of application : 02.10.2001

B23Q 15/00
G05B 19/404

(72)Inventor : NAGASHIMA KAZUO
TANAKA TADASHI



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-269839

(P2001-269839A)

(43)公開日 平成13年10月2日(2001.10.2)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テ-マ-ト*(参考)

B 2 3 Q 15/00

3 0 7

B 2 3 Q 15/00

3 0 7 A

5 H 2 6 9

G 0 5 B 19/404

G 0 5 B 19/404

H 9 A 0 0 1

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願2000-82781(P2000-82781)

(22)出願日 平成12年3月23日(2000.3.23)

(71)出願人 000003458

東芝機械株式会社

東京都中央区銀座4丁目2番11号

(72)発明者 長島 一男

静岡県沼津市大岡2068の3 東芝機械株式
会社内

(72)発明者 田中 忠志

静岡県沼津市大岡2068の3 東芝機械株式
会社内

(74)代理人 100083806

弁理士 三好 秀和 (外7名)

Fターム(参考) 5H269 AB26 BB03 CC05 DD06 EE05

EE13 HH01 JJ01

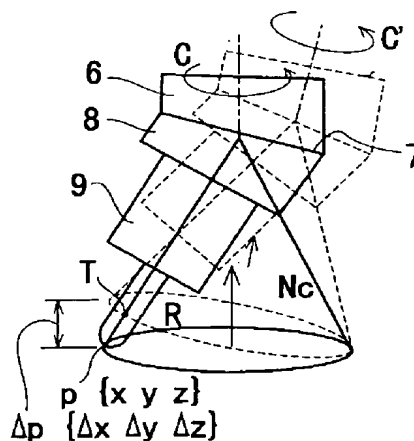
9A001 HH34 JJ49 KK32

(54)【発明の名称】 多軸工作機械の主軸頭位置誤差補正方法

(57)【要約】

【課題】 C軸、B'軸に関係する誤差に起因する主軸頭の位置誤差を補正すること。

【解決手段】 B軸部材8のB'軸周りの旋回角を所定角度に固定した状態で、C軸部材6をC軸周りに旋回させて所定旋回角度毎に主軸先端位置を測定し、その測定値よりC軸部材6の軸方向ベクトルを決定し、C軸部材6のC軸周りの旋回角を所定角度に固定した状態で、B軸部材8のB'軸線周りに旋回させて所定旋回角度毎に主軸先端位置を測定し、その測定値よりB軸部材8の軸方向ベクトルを決定し、それらの軸方向ベクトルの軸線周りに旋回した状態での主軸先端の位置を求め、この主軸先端の位置と誤差がない場合の主軸の位置との差分を主軸頭位置誤差として主軸頭位置誤差を補正する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 鉛直軸線周りに 360 度旋回可能な第 1 の部材と、前記第 1 の部材の旋回中心軸線に対して傾斜した旋回面同士で対向し、その傾斜旋回面を直角に貫通する方向に延在する傾斜軸線周りに旋回可能な第 2 の部材とを備え、前記第 2 の部材上に主軸頭を搭載されている型式の多軸工作機械の主軸頭位置誤差補正方法において、

前記第 2 の部材の傾斜軸線周りの旋回角を所定角度に固定した状態で、前記第 1 の部材を鉛直軸線周りに旋回させて所定旋回角度毎に主軸先端位置を測定し、その測定値より前記第 1 の部材の軸方向ベクトルを決定し、前記第 1 の部材の鉛直軸線周りの旋回角を所定角度に固定した状態で、前記第 2 の部材を傾斜軸線周りに旋回させて所定旋回角度毎に主軸先端位置を測定し、その測定値より前記第 2 の部材の軸方向ベクトルを決定し、それらの軸方向ベクトルの軸線周りに旋回した状態での主軸先端の位置を求め、この主軸先端の位置と誤差がない場合の主軸の位置との差分を主軸頭位置誤差として主軸頭位置誤差を補正することを特徴とする多軸工作機械の主軸頭位置誤差補正方法。

【請求項 2】 前記主軸頭位置誤差の符号を反転した値を補正值として NC プログラム座標をオフセットし、主軸頭位置誤差を補正することを特徴とする請求項 1 記載の多軸工作機械の主軸頭位置誤差補正方法。

【請求項 3】 主軸先端位置の測定値を回帰方程式により重回帰分析して旋回平面を決定し、当該旋回平面の法線ベクトルを前記軸方向ベクトルとすることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の多軸工作機械の主軸頭位置誤差補正方法。

【請求項 4】 工作機械固有の主軸旋回中心点から工具ケーシングまでの距離を工作機械の制御系に登録し、工具固有の工具ケーシングから工具先端の切り刃半径中心までの距離を自動工具交換装置の工具データテーブルに登録しておき、工具交換時にこれら両距離データを参照して工具の旋回補正計算を行うことを特徴とする請求項 1 ～ 3 の何れか 1 項に記載の多軸工作機械の主軸頭位置誤差補正方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、多軸工作機械の主軸頭位置誤差補正方法に関し、特に、傾斜旋回式の主軸頭を有する多軸工作機械の主軸頭位置誤差補正方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】金型加工等のために、自由曲面加工を行う多軸（5 軸）工作機械として、X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸方向に移動可能なラムに、鉛直軸線周りに 360 度旋回可能な第 1 の部材（C 軸部材）と、前記第 1 の部材の旋回中心軸線に対して傾斜（15 度傾斜）した旋回面

同士で対向し、その傾斜旋回面を直角に貫通する方向に延在する傾斜軸線（B' 軸）周りに旋回可能な第 2 の部材（B 軸部材）とを備え、前記第 2 の部材上に主軸頭を搭載されている型式の多軸工作機械が、本願出願人と同一の出願人により提案されている（特願平 11-328754 号）。

【0003】上述のような構成による多軸工作機械は、鉛直線周りに 360 度旋回できる C 軸部材と、これに直交する B 軸周りに回動可能な B 軸部材を備えたものに比して、主軸および主電動機の大きさに制限を与えることがなく、強力な切削を可能にし、高い加工能率を得ることができる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上述した型式の多軸工作機械は、理想的には、C 軸は完全な鉛直軸線周りに旋回すべきであるが、現実には機械構造部品の製造上の微小な角度誤差や自重による変形等により僅かに倒れた軸線周りに旋回する。そのまま放置すると、主軸傾斜方向変更の前後で、加工面が正しく接続されなくなることがあるので、この誤差を補正する必要がある。

【0005】また、B' 軸の傾斜角度と傾斜方向、ならびに C 軸および B' 軸それぞれの中心位置にも製造上許容すべき誤差が存在し、これらの誤差も補正する必要がある。

【0006】この発明は、上述の如き課題に鑑みてなされたものであり、C 軸、B' 軸に関係する誤差に起因する主軸頭の位置誤差を補正する自動化可能な多軸工作機械の主軸頭位置誤差補正方法を提供することを目的としている。

【0007】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するために、請求項 1 による多軸工作機械の主軸頭位置誤差補正方法は、鉛直軸線周りに 360 度旋回可能な第 1 の部材と、前記第 1 の部材の旋回中心軸線に対して傾斜した旋回面同士で対向し、その傾斜旋回面を直角に貫通する方向に延在する傾斜軸線周りに旋回可能な第 2 の部材とを備え、前記第 2 の部材上に主軸頭を搭載されている型式の多軸工作機械の主軸頭位置誤差補正方法において、前記第 2 の部材の傾斜軸線周りの旋回角を所定角度に固定した状態で、前記第 1 の部材を鉛直軸線周りに旋回させて所定旋回角度毎に主軸先端位置を測定し、その測定値より前記第 1 の部材の軸方向ベクトルを決定し、前記第 1 の部材の鉛直軸線周りの旋回角を所定角度に固定した状態で、前記第 2 の部材を傾斜軸線周りに旋回させて所定旋回角度毎に主軸先端位置を測定し、その測定値より前記第 2 の部材の軸方向ベクトルを決定し、それらの軸方向ベクトルの軸線周りに旋回した状態での主軸先端の位置を求め、この主軸先端の位置と誤差がない場合の主軸の位置との差分を主軸頭位置誤差として主軸頭位置誤差を補正するものである。

【0008】また、請求項2による多軸工作機械の主軸頭位置誤差補正方法は、前記主軸頭位置誤差の符号を反転した値を補正值としてNCプログラム座標をオフセットし、主軸頭位置誤差を補正するものである。

【0009】また、請求項3による多軸工作機械の主軸頭位置誤差補正方法は、主軸先端位置の測定値を回帰方程式により重回帰分析して旋回平面を決定し、当該旋回平面の法線ベクトルを前記軸方向ベクトルとするものである。

【0010】また、請求項4による多軸工作機械の主軸頭位置誤差補正方法は、工作機械固有の主軸旋回中心点から工具ケーシングまでの距離を工作機械の制御系に登録し、工具固有の工具ケーシングから工具先端の切り刃半径中心までの距離を自動工具交換装置の工具データテーブルに登録しておき、工具交換時にこれら両距離データを参照して工具の旋回補正計算を行うものである。

【0011】

【発明の実施の形態】以下にこの発明の実施の形態を図面を用いて詳細に説明する。

【0012】図1はこの発明による主軸頭位置誤差補正方法を適用される多軸工作機械（門型マシニングセンタ）を示している。この多軸工作機械は、ベッド1上をX軸方向に移動可能なワークテーブル2と、クロスレール3より支持されてY軸方向に移動可能なサドル4と、*

$$\{\xi, \eta, \zeta\} = L \{\sin\theta \sin 15^\circ \quad \cos\theta \cos 15^\circ \quad -\cos 15^\circ\} \quad \dots (1)$$

【0016】これをB'軸線周り-15度旋回させてから、さらにC軸方向に任意角度φ旋回させたときの工具先端半径中心の広域座標x, y, zは、式(2)～

$$x = L [\cos\phi \sin\theta \sin 15^\circ - \sin\phi (1 - \cos\theta) \sin 15^\circ \cos 15^\circ] \quad \dots (2)$$

$$y = -L [\sin\phi \sin\theta \sin 15^\circ + \cos\phi (1 - \cos\theta) \sin 15^\circ \cos 15^\circ] \quad \dots (3)$$

$$z = -L [1 - (1 - \cos\theta) \sin^2 15^\circ] \quad \dots (4)$$

【0018】 $\gamma = 0$ のとき、 $\phi = \delta$ となり、主軸を-Y方向に傾斜させるための δ と β は、 $x = 0$ と置いて式

$$\delta = \tan^{-1} [\sin\theta / (1 - \cos\theta) \cos 15^\circ] \quad \dots (5)$$

$$\beta = \tan^{-1} [\sin\theta \sin 15^\circ / \sin\delta \{1 - (1 - \cos\theta) \cos^2 15^\circ\}] \quad \dots (6)$$

【0020】B'軸とC軸が、ともに歯数72の正面歯車結合（カービックカップリング）を利用しているとすると、表1のように、計算値に近い5度単位の割出し位置を採用する。指令角度に対して若干の角度差を生ず

* サドル4より支持されてZ軸方向に移動可能なラム5と、ラム5より支持されて鉛直線（C軸）周りに360度旋回可能なC軸部材（第1の部材）6と、C軸部材6の旋回中心軸線に対して15度傾斜した旋回面7同士で対向し、その傾斜旋回面7を直角に貫通する方向に延在する傾斜軸線（B'軸）周りに旋回可能なB軸部材（第2の部材）8とを有し、B軸部材8に主軸頭9が搭載されている。

【0013】NC指令は、通常の5軸機のB軸とC軸の回転角度として、B軸指令 β と、C軸指令 γ とで指令されるから、これを上述の型式による工作機械のB'軸とC軸の角度として、B'軸指令 θ と、C軸指令 $\phi = \gamma + \delta$ とに対応させる必要がある。 δ は、B'軸の主軸旋回方向をB軸とC軸で指定された方向に一致させるために必要なC軸の指令に追加される角度である。

【0014】ここで、図2に示されているように、B'軸とC軸の交点を原点とし、B'軸直角方向に ξ 、 η 軸方向に ζ を取る局所座標系を考える。旋回中心からゲージラインまでの距離を L_g 、同ラインから工具Tの先端までの工具長さを L_t 、工具先端半径を r とすると、旋回中心から工具先端半径中心までの距離 L は、 $L = L_g + L_t - r$ であり、工具先端半径の中心座標は次の式(1)によって与えられる。

【0015】

※(4)のように求められる。

【0017】

★(5)、(6)のように求められる。

【0019】

るが、これも補正の対象である。

【0021】

【表1】

B 軸指令 β	0	5	10	15	20	25	30
B 軸指令 θ	0	20	40	60	90	120	180
B 軸傾斜角 β	0.000	5.152	10.157	14.871	21.091	25.905	30.000
理想的な C 軸補正角 δ	90.000	80.334	70.630	60.853	45.993	30.867	0.000
実現可能な C 軸補正角 δ	0	80	70	60	45	30	0

【0022】つぎに、主軸頭位置誤差補正について説明する。図3に示されているように、B' 軸を任意の一定の角度に傾斜させた状態で、C 軸を所定角度ずつ旋回させ、そのときの工具先端半径中心の位置誤差を測定する。測定データ列を Δp_k ($\Delta x_k, \Delta y_k, \Delta z_k$)、ただし ($k=1 \sim n$) とし、これに理論的な旋回位置の座標を加算して p_k (x_k, y_k, z_k)、ただし ($k=1 \sim n$) の旋回位置列を推定する。ただし、 n は測定数である。

【0023】 x_k および y_k を独立変数とし、 z_k を従属変数として次の回帰方程式により重回帰分析を行い、旋回平面を決定する。

$$z = b_0 + b_1 x + b_2 y \quad \dots (7)$$

【0024】ここで、 $s = \sqrt{(1 + b_1^2 + b_2^2)}$ 、 $l_c = -b_1 / s$ 、 $m_c = -b_2 / s$ 、 $n_c = 1 / s$ 、 $d = -b_0 / s$ とすると、旋回平面は次の方程式で表される。

$$l_c x + m_c y + n_c z + d = 0 \quad \dots (8)$$

この旋回平面の法線ベクトル N_c (l_c, m_c, n_c) を C 軸の方向ベクトルとする。

【0025】次に、図4に示されているように、C 軸を固定した状態で B' 軸を所定角度ずつ旋回させ、そのときの工具先端半径中心の位置誤差を測定データ列か

*ら、同様に、B' 軸の方向ベクトル N_b (l_b, m_b, n_b) を決定する。

10 【0026】 $\phi = 0$ 、 $\gamma = 0$ における工具先端半径中心の位置と主軸方向ベクトルを 2 行 3 列の行列式で次のように表す。

【0027】

【数1】

$$\begin{Bmatrix} x_o & y_o & z_o \\ i_o & j_o & k_o \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \quad \dots (a)$$

【0028】ここに、1 行目は工具先端半径中心の位置の座標を、2 行目は主軸方向ベクトルを表す。

20 【0029】工具先端半径中心の位置を原点 p_o ($0, 0, 0$) とすれば、B' 軸の回転中心 $p_{b'}$ ($x_{b'}, y_{b'}, z_{b'}$) は、 $x_{b'} = L \cdot l_c$ 、 $y_{b'} = L \cdot m_c$ 、 $z_{b'} = L \cdot n_c$ にある。

【0030】工具先端半径中心の位置と方向を、回転中心 $p_{b'}$ ($x_{b'}, y_{b'}, z_{b'}$) および方向ベクトル N_b (l_b, m_b, n_b) の周りに角度 θ 旋回した行列は下式 (10) で与えられる。

【0031】

【数2】

$$p_l \begin{Bmatrix} x_1' & y_1' & z_1' \\ i_1' & j_1' & k_1' \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} x_o - x_{b'} & y_o - y_{b'} & z_o - z_{b'} \\ i_o & j_o & k_o \end{Bmatrix} \cdot [R_\theta] + \begin{Bmatrix} x_{b'} & y_{b'} & z_{b'} \\ 0 & 0 & 0 \end{Bmatrix}$$

..... (10)

【0032】ここに、 $[R_\theta]$ は回転変換マトリックスであり、下式 (11) で与えられる。

※

$$[R_\theta] = \begin{bmatrix} l_b^2 + (1 - l_b^2) \cos \theta & l_b \cdot m_b (1 - \cos \theta) + n_b \sin \theta & l_b \cdot n_b (1 - \cos \theta) - m_b \sin \theta \\ l_b \cdot m_b (1 - \cos \theta) - n_b \sin \theta & m_b^2 + (1 - m_b^2) \cos \theta & m_b \cdot n_b (1 - \cos \theta) + l_b \sin \theta \\ l_b \cdot n_b (1 - \cos \theta) + m_b \sin \theta & m_b \cdot n_b (1 - \cos \theta) - l_b \sin \theta & n_b^2 + (1 - n_b^2) \cos \theta \end{bmatrix}$$

..... (11)

【0033】同様に、これを回転中心 p_o (x_o, y_o, z_o) および方向ベクトル N_c (l_c, m_c, n_c) の周りに角度 ϕ 旋回した行列は下式 (12) で与

えられる。

【0034】

【数4】

$$P' \begin{Bmatrix} x' & y' & z' \\ i' & j' & k' \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} x_1' - x_c & y_1' - y_c & z_1' - z_c \\ i_1' & j_1' & k_1' \end{Bmatrix} \cdot [R_\varphi] + \begin{Bmatrix} x_c & y_c & z_c \\ 0 & 0 & 0 \end{Bmatrix} \dots\dots (12)$$

【0035】ここに、 $[R_\varphi]$ は回転変換マトリックス *【数5】
 スであり、下式(13)で与えられる。 *

$$[R_\varphi] = \begin{bmatrix} l_c^2 + (1 - l_c^2) \cos \varphi & l_c \cdot m_c (1 - \cos \varphi) + n_c \sin \varphi & l_c \cdot n_c (1 - \cos \varphi) - m_c \sin \varphi \\ l_c \cdot m_c (1 - \cos \varphi) - n_c \sin \varphi & m_c^2 + (1 - m_c^2) \cos \varphi & m_c \cdot n_c (1 - \cos \varphi) + l_c \sin \varphi \\ l_c \cdot n_c (1 - \cos \varphi) + m_c \sin \varphi & m_c \cdot n_c (1 - \cos \varphi) - l_c \sin \varphi & n_c^2 + (1 - n_c^2) \cos \varphi \end{bmatrix}$$

..... (13)

【0036】これらの回転変換により、B'軸およびC軸がそれぞれ θ および ϕ 旋回した状態の工具先端半径中心の位置と方向が求められる。

【0037】一方、NC指令プログラム作成時にボス ※

$$u = -L_N \sin \beta \cos \gamma, \quad v = -L_N \sin \beta \sin \gamma, \quad w = -L_N \cos \beta + L_N \dots (14)$$

【0038】予測される誤差は両者の差 $\{x' - u, y' - v, z' - w\}$ であるから、これらの誤差の符号を反転した値を補正量としてNCプログラム座標をオフセットすれば、誤差が補正できる。

【0039】上述の補償を実施した後も、誤差が残る場合は、 $\sin B'$ 、 $\cos B'$ 、 $\sin C'$ 、 $\cos C'$ およびこれらの積を独立変数とし、 Δx 、 Δy 、 Δz を従属変数として重回帰分析を行なうと、誤差の関数形が定まる。この回帰関数からB軸C軸の全ての旋回位置に対する Δx 、 Δy 、 Δz の誤差を計算し、先に求めた回転変換の誤差に加算して補正すると、誤差を減少させることができる。

【0040】上述した主軸頭位置誤差補正の補正值の計算は、主軸頭割出し指令において、その計算のサブマクロを実行することにより、主軸頭割出し指令毎に行うことができる。

【0041】次に、図5に示されているフローチャートを参照して主軸頭割出し指令の処理手順を説明する。

【0042】まず、現在、C軸割出し位置(C軸旋回位置)は原点位置にあるかを確認し(ステップS10)、原点位置になれば、原点位置への割出しを行う(ステップS11)。

【0043】つぎに、B軸指令位置へ割出しを行い(ステップS12)、ついで、C軸指令位置へ割出しを行う(ステップS13)。

【0044】つぎに、補正量計算サブマクロを実行し、補正量を得る(ステップS14)。この新しい補正量から現在設定されている補正量を減算し、最終補正量を算出する(ステップS15)。

【0045】そして、現在のプログラム座標に最終補正量を加算し、新しいプログラム座標系を設定し(ステップS16)、新補正値をマクロ変数に保存する(ステ

※トプロセッサが使用する工具先端半径中心の位置からB軸の回転中心までの公称寸法を L_N とすれば、NC指令における座標のオフセット $\{u, v, w\}$ は次式(14)で表される。

20 【0046】なお、工作機械固有の主軸旋回中心点から工具ケーシングまでの距離 L_g を工作機械の制御系に登録し、工具固有の工具ケーシングから工具先端の切り刃半径中心までの距離 L_t を自動工具交換装置の工具データテーブルに登録しておき、工具交換時にこれら両距離データを参照して工具の旋回補正計算を行うこともできる。

【0047】

30 【発明の効果】以上の説明より理解されるように、請求項1による多軸工作機械の主軸頭位置誤差補正方法によれば、第2の部材(B軸部材)の傾斜軸線周りの旋回角を所定角度に固定した状態で、第1の部材(C軸部材)を鉛直軸線周りに旋回させて所定旋回角度毎に主軸先端位置を測定し、その測定値より前記第1の部材の軸方向ベクトルを決定し、第1の部材の鉛直軸線周りの旋回角を所定角度に固定した状態で、第2の部材を傾斜軸線周りに旋回させて所定旋回角度毎に主軸先端位置を測定し、その測定値より第2の部材の軸方向ベクトルを決定し、それらの軸方向ベクトルの軸線周りに旋回した状態での主軸先端の位置を求め、この主軸先端の位置と誤差がない場合の主軸の位置との差分を主軸頭位置誤差として主軸頭位置誤差を補正するから、C軸、B'軸に関係する誤差に起因する主軸頭の位置誤差を補正することができ、その補正の自動化も可能になる。

40 【0048】請求項2による多軸工作機械の主軸頭位置誤差補正方法によれば、主軸頭位置誤差の符号を反転した値を補正值としてNCプログラム座標をオフセットし、主軸頭位置誤差を補正するから、加工過程で、位置補正のための高速演算等を必要とすることなく、C軸、B'軸に関係する誤差に起因する主軸頭の位置誤差を補正することができる。

＊【図１】この発明による主軸頭位置誤差補正方法を適用される多軸工作機械を示す斜視図である。

【図3】C軸旋回を示す説明図である。

【図5】主軸頭割出し指令の処理手順を示す

一トである。

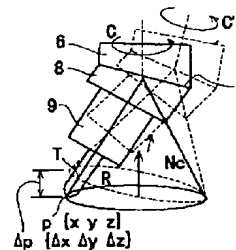
【符号の説明】

- 1 ベッド
- 2 ワークテーブル
- 3 クロスレール
- 4 サドル
- 5 ラム
- 6 C軸部材（第1の部材）
- 7 旋回面
- 8 B軸部材（第2の部材）
- 9 主軸頭

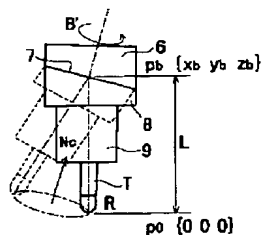
【 0050 】請求項4による多軸工作機械の主軸頭位置誤差補正方法によれば、工作機械固有の主軸旋回中心点から工具ケージラインまでの距離を工作機械の制御系に登録し、工具固有の工具ケージラインから工具先端の切り刃半径中心までの距離を自動工具交換装置の工具データテーブルに登録しておき、工具交換時にこれら両距離データを参照して工具の旋回補正計算を行うから、工具交換が行われても、補正計算が自動的に行われ得るようになり、工機機械の無人自動化運転が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図3】



【圖 4】



【図5】

